



Teräsbetonirunkoisen rakennuksen palovahinkokorjaus

Asuinkerrostalot

Juuso Karisalmi

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2015
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakentamisen suuntautumisvaihtoehto

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talorakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto

Karisalmi Juuso:
Teräsbetonirunkoisen rakennuksen palovahinkokorjaus
Asuinkerrostalot

Opinnäytetyö 45 sivua, ei liitteitä
Kesäkuu 2015

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää teräsbetonille palovahingosta aiheutuvia vaurioita ja niiden korjausvaihtoehtoja. Lisäksi tarkoituksena oli käydä läpi teräsbetonin materiaaliominaisuuksia, yleisimpiä kerrostalojen runkojärjestelmiä ja palomitoitusta.

Työssä tutkittiin erityisesti asuinkerrostaloissa tapahtuvia palovahinkoja. Tietolähteinä käytettiin kirjallisuutta, tutkimuksia ja haastatteluja. Sammutusvedestä aiheutuvat vauriot on rajattu pois tämän työn sisällöstä. Palomitoituksesta on esitelty sekä eurokoodin että betoninormien mukainen mitoitus, jotta työ soveltuisi kattavasti kaiken ikäisiin rakennuksiin.

Teräsbetoni kestää hyvin tulipalosta aiheutuvia rasituksia ja on materiaalina palamaton. Lisäksi asuinkerrostaloissa tapahtuvat tulipalot ovat yleensä palokuormiltaan pieniä, joten rakenteiden kantavuus vaarantuu harvoin. Yleensä vauriot rajoittuvat pinnoitteisiin ja irtaimistoon. Runkorakenteille aiheutuu tulipalosta harvoin laajoja vahinkoja. Tulipalosta aiheutuu kuitenkin usein savu- ja nokivaurioita, jotka aiheuttavat hajuhaittaa palohuoneiston lisäksi myös muissa rakennuksen tiloissa ja huoneistoissa.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi tietopaketti teräsbetonin käyttäytymisestä tulipalossa ja palovaurioiden korjausvaihtoehdoista. Kerrostaloissa tapahtuvista palovahingoista kärsii usein moni huoneisto. Jatkotutkimuksena voisi pohtia korjaustoimenpiteiden mahdollista nopeuttamista, jotta palovahingosta aiheutuvat haitat asukkaille jäisivät mahdollisimman vähäisiksi.

Asiasanat: teräsbetoni, kerrostalo, palomitoitus, palovahinko, korjausrakentaminen

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Technology
Option of Structural Engineering

Karisalmi Juuso:
Repair of Fire Damages in Buildings with Reinforced Concrete Frame
Apartment Houses

Bachelor's thesis 45 pages, no appendices
June 2015

The objective of this study was to gather information about fire damages in apartment buildings with reinforced concrete frame. The purpose was to gather an information package about reinforced concrete properties, fire damages, fire technical dimensioning and repairing reinforced concrete structures.

The information in the study was collected from regulations, literature, research and interviews. Fire design is presented according to both Eurocode and official concrete code. Damages caused by water used in fire fighting were not covered in this study.

Reinforced concrete withstands fire loads well. Loads caused by fire accidents are usually low in apartments. Because of these two things fire accidents rarely cause damages in supportive structures. Otherwise smoke and soot can cause damages widely everywhere in buildings.

The result of this study was an information package about reinforced concrete damages caused by fire and how these damages could be repaired. There is also some information about air cleaning methods of smoke damages.

Key words: reinforced concrete, block of flats, fire technical dimensioning, fire damage, reconstruction

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	Teräsbetonin ominaisuudet ja rakenteellinen toiminta.....	6
2.1	Betonin koostumus ja ominaisuudet	6
2.2	Betoniteräksen ominaisuudet	7
2.3	Teräsbetonin rakenteellinen toiminta ja raudoitus periaatteet	8
3	Palovahingot ja rakennuksen palosuunnittelu	11
3.1	Yleistä palovahingoista.....	11
3.2	Rakennusten paloturvallisuus	12
3.3	Asuinkerrostalon palomääräykset.....	12
4	Runkojärjestelmät.....	14
4.1	Runkojärjestelmän valinta	14
4.2	Yleisempiä teräsbetonisen kerrostalon runkojärjestelmiä	14
4.3	Palomääräysten vaikutus runkojärjestelmän valintaan	16
5	Teräsbetonirakenteen palomitoitus Eurokoodin mukaan	18
5.1	Yleistä	18
5.2	Rakenteellinen mitoitus	18
5.3	Taulukkomitoitus	21
6	Teräsbetonirakenteen palomitoitus betoninormien mukaan.....	23
6.1	Yleistä	23
6.2	Rakenteiden palonkestävyys ja palonkestävyysvaatimukset.....	23
6.3	Palonaikaiset kuormitukset ja varmuuskertoimet	24
6.4	Laskennallinen mitoitus	24
6.5	Taulukkomitoitus	30
7	Palon aiheuttamat vauriot betonirakenteissa	32
7.1	Yleistä vaurioista	32
7.2	Savusta ja noesta aiheutuvat vauriot.....	33
7.3	Teräsbetonin käyttäytyminen palotilanteessa	33
8	Palovaurioiden korjaus	36
8.1	Vaurioiden kartoitus	36
8.2	Nokivaurioiden puhdistus ja hajunpoisto.....	37
8.3	Teräsbetonirakenteiden korjaus	39
8.3.1	Betonin poistaminen ja korjattavan rakenteen esikäsittely	39
8.3.2	Teräsbetonirakenteen korjaaminen sementtipohjaisilla tuotteilla.....	41
9	POHDINTA.....	42
	LÄHTEET.....	44

1 JOHDANTO

Suomessa tapahtuu vuosittain noin 6000 rakennuspaloa, joista noin neljännes tapahtuu asuinkerrostaloissa. Teräsbetoni on käytetyin kerrostalojen runkomateriaali mm. hyvän palonkestävyytensä ansiosta. Kerrostaloissa tapahtuvat palovahingot eivät yleensä aiheuta vaaraa rakenteiden kantavuudelle, mutta jo pienenkin palon seurauksista kärsii usein useampi asuinhuoneisto. Tässä opinnäytetyössä on pohdittu teräsbetonirunkoisten kerrostalojen palomitoitusta ja palovahinkojen korjausta rakennesuunnittelijan näkökulmasta. Kantavien rakenteiden korjauksen lisäksi on myös selvitetty hajunpoistovaihtoehtoja.

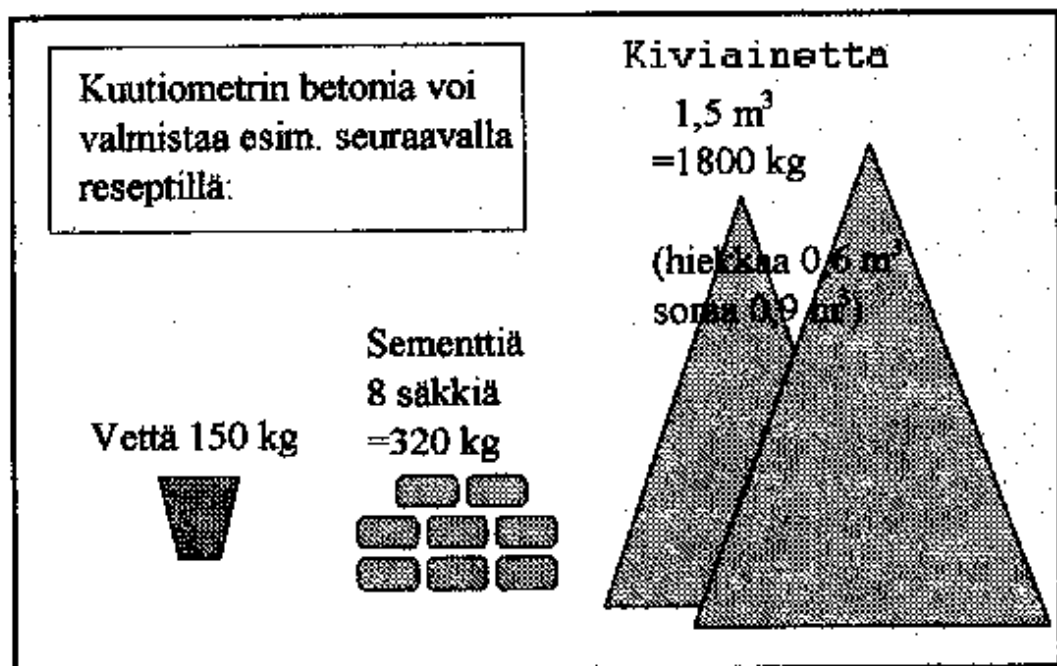
Opinnäytetyön tavoitteena on laatia tietopaketti teräsbetonirunkoisten rakennusten palomitoituksesta, teräsbetonille aiheutuvista vaurioista ja niiden korjaamisesta. Tarkastelun pääpaino pidetään kerrostaloissa, mutta samat asiat ovat sovellettavissa myös muihin betonirunkoisiin rakennuksiin. Palomitoitus käydään läpi sekä Eurokoodin että betoninormien pohjalta. Näin pyritään saamaan kosketus mahdollisimman laajaan rakennuskantaan. Tietokoneohjelmilla tehtävään mitoitus on jätetty tämän työn ulkopuolelle. Sammutusvesistä aiheutuvia vesivahinkoja ei ole käsitelty tarkemmin, vaan pääpaino on pidetty suoraan tulipalosta aiheutuvissa vaurioissa.

Työn tietolähteinä on käytetty alan kirjallisuutta, tutkimuksia sekä haastatteluja. Lisäksi tekijä on työskennellyt vakuutusyhtiössä rakennusvahinkojen parissa, josta saatuja tietoja ja kokemuksia on myös hyödynnetty.

2 Teräsbetonin ominaisuudet ja rakenteellinen toiminta

2.1 Betonin koostumus ja ominaisuudet




Betoni koostuu kolmesta pääraaka-aineesta, jotka ovat sementti, vesi ja kiviaines. Betonissa käytetään usein myös lisä- ja seosaineita, joilla pyritään vaikuttamaan betonin työstettävyyteen, lujuuteen, tiiviyyteen ja säilyvyyteen. Osa-aineiden valinta ja seossuhteet vaikuttavat merkittävästi lopputuotteeseen. (Betonitekniiikan oppikirja 2004, 31.)



KUVA 1. Esimerkki betonin yksinkertaisesta valmistusreseptistä (Betonitekniiikan oppikirja 2004, 31)

Kovettunut betoni kestää hyvin puristusjännitystä, mutta huonosti vetojännitystä. Puristuslujuus on noin kymmenkertainen vetolujuuteen verrattuna. Betonin lujuus määritellään puristuskokeella. Puristuskokeessa käytetään kuution tai ympyrälieriön muotoisia koekappaleita. Koekuution särmien pituus on joko 100 mm tai 150 mm. Vastaavasti ympyrälieriön korkeus on 300mm ja pohjan halkaisija 150 mm. Erikokoiset ja muotoiset koekappaleet antavat samalla betonille erisuuruisia lujuuksia. Taulukossa 1 on esitetty näiden kappaleiden ja lujuuksien suhteet. (Betonitekniiikan oppikirja 2004, 79.)

TAULUKKO 1. Betonin testauksessa käytettäviä koekappaleita ja suhteelliset lujuudet (Betonitekniikan oppikirja 2004, 79)

			
Mitat	100×100×100 mm ³	150×150×150 mm ³	h = 300 mm d = 150 mm
Suhteellinen lujuus	1,03	1,00	0,78...0,85
Kerroin	0,97	1,00	katso taulukko 3.2

Betonin lujuusmerkinnästä selviää lieriön puristuslujuus, kuution puristuslujuus ja rakenteen toteutusluokka esimerkiksi C25/30-2. Edellä mainitun merkinnän mukaan betonin lieriölujuus on 25 MPa, kuutiolujuus 30 MPa ja rakenteen toteutusluokka 2. Ennen eurokoodeja vastaavan betonin merkintä on ollut K30-2. (Hietanen 2010, 56-57.)

Suhteellisen alhaisesta vetolujuudesta johtuen betonille on ominaista halkeilla. Halkeamat johtuvat aina betonin vetolujuuden ylittymisestä. Vetolujuuden ylitys saattaa johtua esimerkiksi rakenteen epätasaisesta lämpötilasta tai rakenteeseen kohdistuvasta ulkoisesta kuormituksesta. Betonin halkeamien sijaintia, määrää ja leveyttä tulee rakennettaessa hallita, etteivät ne vaaranna rakenteen toimintaa tai säilyvyyttä. (Betonitekniikan oppikirja 2004, 82-84.)

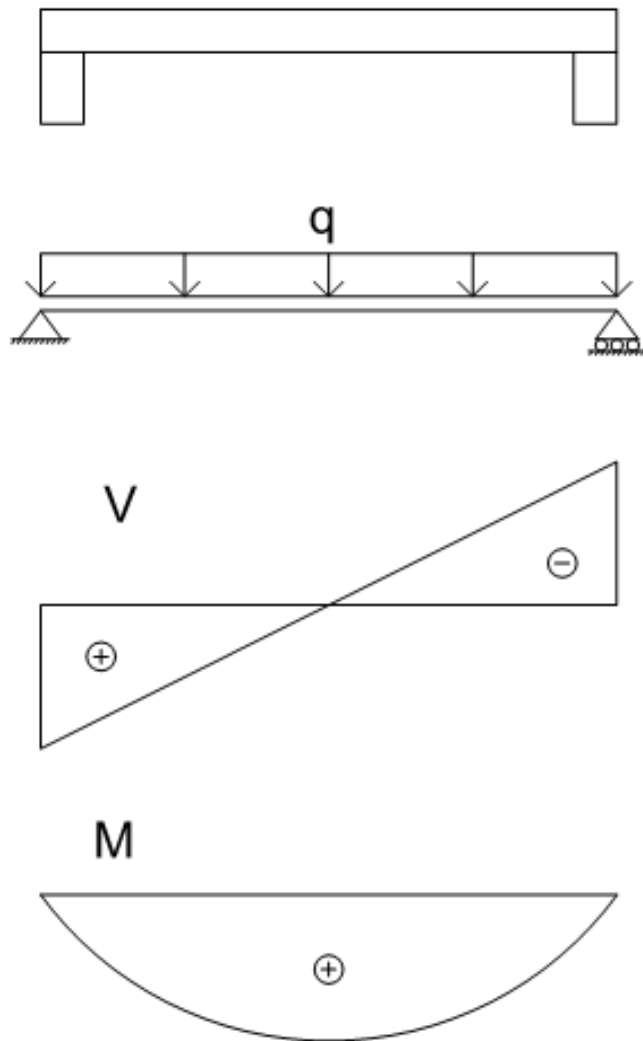
2.2 Betoniteräksen ominaisuudet

Betoni kestää huonosti vetojännitystä, jota aiheutuu esimerkiksi palkkirakenteessa palkin yläpuolisesta kuormituksesta palkin alapintaan. Tämän vuoksi betonirakenteessa käytetään raudoituksia, jotka ottavat vastaan vetojännitykset vedolle altistuvissa rakenteen osissa. Jännittämättömien betoniterästen myötölujuus on teräslaadusta riippuen 235-700 N/mm². Betoniteräkset voidaan jakaa valmistusmenetelmän mukaan kuuma- valssattuihin ja kylmämuokattuihin sekä pinnan muodon mukaan harjateräksiin ja sileisiin teräksiin. (Betonitekniikan oppikirja 2004, 243-267.)

Betoniteräksien tulee täyttää standardin EN 10080 mukaisten testausmenetelmien asettamat vaatimukset. Betoniterästen CE-merkintä ei ole kyseisen standardin mukaan tois-
taiseksi ollut mahdollista. (RIL 202-2011, 23.)

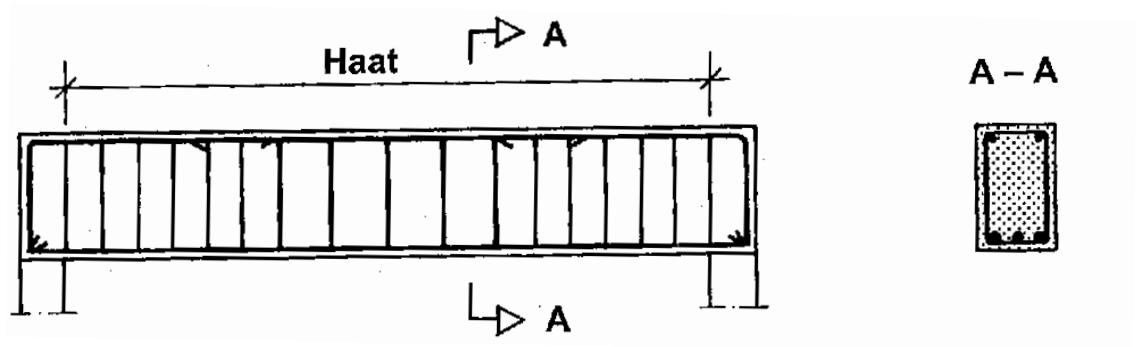
2.3 Teräsbetonin rakenteellinen toiminta ja raudoitus periaatteet

Koska teräs on betoniin verrattuna kallista, on kustannustehokasta hyödyntää molempien parhaita ominaisuuksia siellä missä niitä tarvitaan. Betonin korkeaa puristuslujuutta on siis järkevää hyödyntää rakenteen puristetuissa osissa ja vastaavasti rakenteen vedettyissä osissa käyttää terästä(raudoitus). Jotta tiedämme mitkä rakenteen osat ovat puristettuja ja mitkä vedettyjä, tulee meidän tietää rakenteen staattinen malli ja rakennetta rasittavat voimat. Esimerkiksi päistään tuetun ja tasaisesti ylhäältä päin kuormitetun palkin tapauksessa leikkausvoiman maksimiarvo sijaitsee tukien lähellä, kun taas momentin maksiarvo on keskellä rakennetta (kuva 2).



KUVA 2. Palkki-pilarirakenne, staattinen malli ja voimakuviot

Voimakuvioiden perusteella palkkiin kohdistuu taivutusjännitystä sen keskikohdassa (M-kuvion maksimiarvo) ja leikkausjännitystä tukien kohdalla (V-kuvion maksimiarvo). Näillä kohdilla rakenteeseen kohdistuu vetorasitusta, joten raudoitusteräket tulee sijoittaa rakenteen näille kohdille. Palkin alareunaan asennettavia teräksiä kutsutaan pääraudoitukseksi ja tukien lähelle sijoitettavia teräksiä leikkausraudoitukseksi tai ha-oiksi (kuva 3).



KUVA 3. Raudoituksen sijainti pilari-palkkirakenteessa (Betonitekniikan oppikirja 2004, 20)

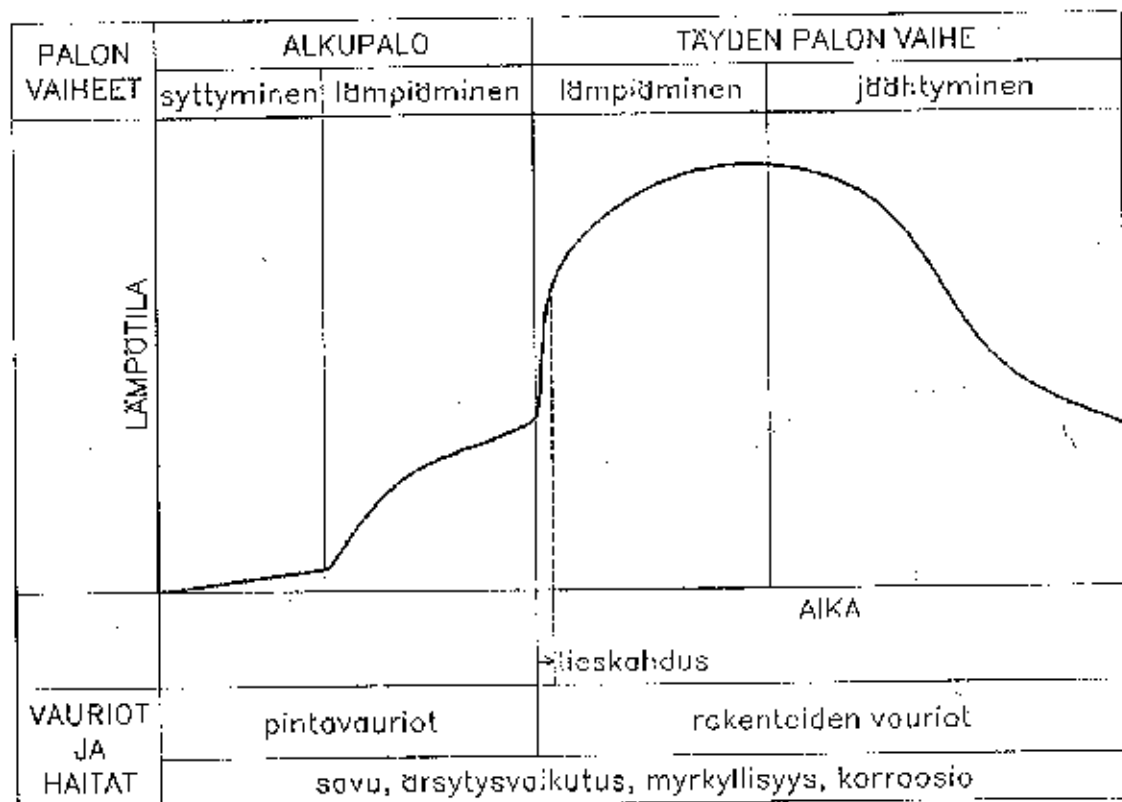
Yleensä palotilanteessa betoniterästen kestävyys on määräävä tekijä rakenteen kantavuuden kannalta. Kriittisimmät kohdat ovat raskaimmin rasitetut alueet rakenteessa, jotka sijaitsevat voima-kuvioiden maksimiarvojen kohdalla.

3 Palovahingot ja rakennuksen palosuunnittelu

3.1 Yleistä palovahingoista

Suomessa tapahtuu vuosittain noin 6000 rakennuksiin kohdistuvaa tulipaloa, joista asuinrakennuksiin kohdistuu hieman yli puolet. Rakennuspaloista noin 3000 eli puolet aiheutuu ihminen toiminnasta ja selvästi ylipuolessa tapauksista on huolimattomuudella tai tahallisuudella osuutta palon syttymiseen. Sähkölaitteista aiheutuu noin 1700 tulipaloa vuodessa. (Pelastustoimen taskutilasto 2014, 14-15.)

Tulipaloissa menehtyy vuosittain noin 75-90 henkeä. Noin 75 prosentissa tapauksista menehtynyt henkilö on päihtynyt tai menehtyneen henkilön yleinen toimintakyky on alentunut (invaliditeetti, henkinen rajoittuneisuus). Yleisimmin tulipalon uhri menehtyy palokaasuista aiheutuneeseen häämyrkytykseen, koska poistuminen palavasta rakennuksesta ei ole onnistunut riittävän nopeasti. (Pelastustoimi)



KUVA 4. Tulipalon kehittyminen sekä esimerkkejä mahdollisista vaurioista ja haitoista (Betonitekniiikan oppikirja 2004, 108)

3.2 Rakennusten paloturvallisuus

Maankäyttö- ja rakennuslain (5.2.1999/132) pykälässä 117b sanotaan paloturvallisuudesta seuraavaa: ”Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla paloturvalliseksi. Palon syttymisen vaaraa on rajoitettava. Rakennuksen kantavien rakenteiden on oltava sellaiset, että ne palon sattuessa kestävät vähimmäisajan ottaen huomioon rakennuksen sortuminen, poistumisen turvaaminen, pelastustoiminta ja palon hallintaan saaminen. Palon ja savun kehittymistä ja leviämistä rakennuksessa sekä palon leviämistä lähistöllä oleviin rakennuksiin on pystyttävä rajoittamaan. Rakennuksen rakentamisessa on käytettävä paloturvallisuuden kannalta soveltuvia rakennustuotteita ja teknisiä laitteistoja.” Lisäksi saman lain pykälän toisessa momentissa otetaan tarkemmin kantaa onnettomuustilanteessa rakennuksessa olevien henkilöiden ja pelastushenkilökunnan turvallisuuteen. Henkilöiden on voitava poistua turvallisesta tai vaihtoehtoisesti heidät on voitava pelastaa palavasta rakennuksesta. Pelastushenkilöstön mahdollisuus turvalliseen pelastustoimintaan on myös otettava huomioon rakennusta suunniteltaessa ja rakennettaessa. Lupaviranomainen voi edellyttää turvallisuusselvityksen laatimista poistumisturvallisuuden osalta, jos rakennuskohde on tältä osin erityisen vaativa. (Maankäyttö- ja rakennuslaki, 5.2.1999/132.)

Suomen rakentamismääräyskokoelma E1 antaa määräyksiä ja ohjeita rakennuksen paloturvalliseen suunnitteluun ja rakentamiseen. Ensisijaisesti määräykset pyrkivät estämään henkilövahinkojen syntymisen onnettomuustilanteessa, mutta määräyksillä pyritään myös rajoittamaan omaisuudelle ja ympäristölle palosta aiheutuvia vahinkoja. Rakennuksen paloluokan (P1, P2 tai P3) määrittämiseen vaikuttaa esimerkiksi sen käyttötarkoitus, korkeus, kerrosluku ja suurin sallittu henkilömäärä. (Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa E1 2011.)

3.3 Asuinkerrostalon palomääräykset

Rakennus tulee jakaa palo-osastoihin, joiden avulla pyritään rajoittamaan palon leviämistä ja varmistamaan turvallinen poistuminen rakennuksesta. Suomen rakentamismääräyskokoelma E1:n mukaan asuinrakennusten palo-osastointi tehdään huoneistoittain, jolloin yksi huoneisto on yksi palo-osasto.

Palokuormitukseltaan asuinrakennukset kuuluvat alimpaan alle 600 MJ/m^2 palokuormaryhmään. Asuinrakennusten kellariosastot kuuluvat kuitenkin $600\text{--}1200 \text{ MJ/m}^2$ palokuormaryhmään, jos siellä sijaitsee irtaimistovarastoja tai vastaavia tiloja. Rakennuksen osien kantavuus- ja osastoivuusvaatimukset palotilanteessa perustuvat edellä mainittuihin palokuormaryhmiin. Yli 1200 MJ/m^2 palokuormaryhmään kuuluvat varastot, jotka ovat erillisiä palo-osastoja.

Teräsbetonirunkoiset asuinkerrostalot kuuluvat paloluokkiin P1 tai P2. P2-luokan asuinrakennuksien kerrosluku on rajattu kahdeksaan, korkeus enintään 26 metriin ja kerrosala yli kaksikerroksien rakennuksien osalta $12\,000 \text{ m}^2$:iin. Lisäksi yli kaksikerroksisissa P2-luokan asuinrakennuksissa pitää käyttää palonkestävämpiä materiaaleja kuin P1-luokan rakennuksissa. Kantavuus- ja osastoivuusvaatimuksiin vaikuttavat asuinrakennusten osalta eniten kerrosluku. Yli 8-kerroksisissa asuinrakennuksissa vaaditaan kantavuudelta vähintään 120 minuutin ja osastoivuudelta 60 minuutin palonkestävyyttä. Korkeintaan kahdeksan kerroksisissa rakennuksissa riittää 60 minuuttia molemmissa vaatimuksissa. Korkeintaan kaksi kerroksinen P2-luokan rakennus voidaan suunnitella sekä kantavuuden että osastoivuuden osalta 30 minuutin palonkestoajalla, jos P2-luokan muut vaatimukset täyttyvät.

Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan rakennuksesta tulee voida poistua turvallisesti palotilanteessa. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että rakennuksen eri tiloista on oltava mahdollista poistua tai pelastautua kahta toisistaan riippumatonta reittiä. Korkeintaan kahdeksan kerroksisissa asuinrakennuksissa riittää yksi osastoitu uloskäytävä (yleensä porraskäytävä) ja tämän lisäksi vaihtoehtoinen poistumisreitti, kuten parveke tai helposti avattava ikkuna. Yli kahdeksan kerroksisissa rakennuksissa uloskäytävän tulee olla ainakin kaksi uloskäytävää, jotka ovat palolta suojattuja. Yli 16-kerroksisissa rakennuksissa tulee yhden olla uloskäytävän sekä palolta että savulta suojattu. Hissiä ei katsota uloskäytäväksi, mutta yli-16 kerroksisissa rakennuksissa sen käytön tulee olla mahdollista pelastus- ja sammutustyössä. Kun rakennus varustetaan automaattisilla sammutus-, hälytys- tai savunpoistojärjestelmillä, voidaan joissain tapauksissa käyttää rakenteellisesti kevyempiä palomääräyksiä. Näistä määräysten kevennyksistä on kuitenkin aina syytä sopia paloviranomaisen kanssa tapauskohtaisesti. (Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa E1 2011.)

4 Runkojärjestelmät

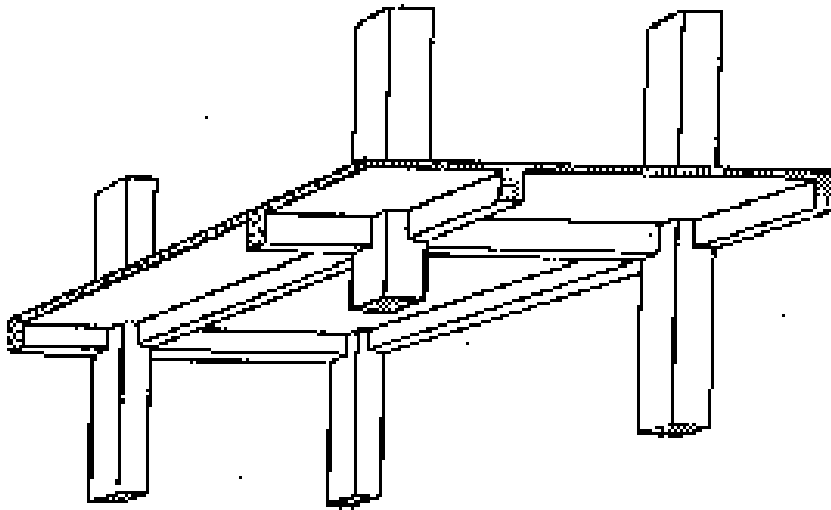
4.1 Runkojärjestelmän valinta

Rakennuksen runkojärjestelmällä tarkoitetaan kantavien rakennusosien muodostamaa järjestelmää, jonka avulla rakennukseen kohdistuvat kuormat ja niistä rakennukselle aiheutuvat rasitukset välitetään turvallisesti perustuksien kautta maa- tai kallioperään. Runkojärjestelmä huolehtii myös rakennuksen riittävästä jäykkyydestä.

Runkojärjestelmän valintaan vaikuttaa ensisijaisesta rakennuksen käyttötarkoituksen asettamat vaatimukset. Näiden perusteella pystytään määrittämään rakennuksen mitat, joiden perusteella saadaan selville esimerkiksi kattorakenteiden jännevälit. Myös toteutuskustannukset vaikuttavat lopulliseen valmistusmenetelmään, joka puolestaan vaikuttaa runkojärjestelmän valintaan. Esimerkiksi paikallavalettavassa kohteessa työmenetelmä asettaa erilaisia rajoituksia suunnittelulle kuin elementtirakenteinen kohde. Kehityksissä sen sijaan esimerkiksi materiaalien saatavuus asettaa omat rajansa suunnittelulle ja näin ollen myös runkojärjestelmäratkaisuille. Pohjaolosuhteilla on myös vaikutusta runkojärjestelmän valintaan, etenkin silloin jos alueen maaperän kantavuus tai stabiilius on heikko. Kustannustehokkuuden kannalta on tärkeää, että jo varhaisessa suunnittelun vaiheessa suunnittelijoilla on käytössä mahdollisimman hyvät lähtötiedot kohteesta. (Saarinen, Kinnunen & Tiira 1982, 503, 517-522.)

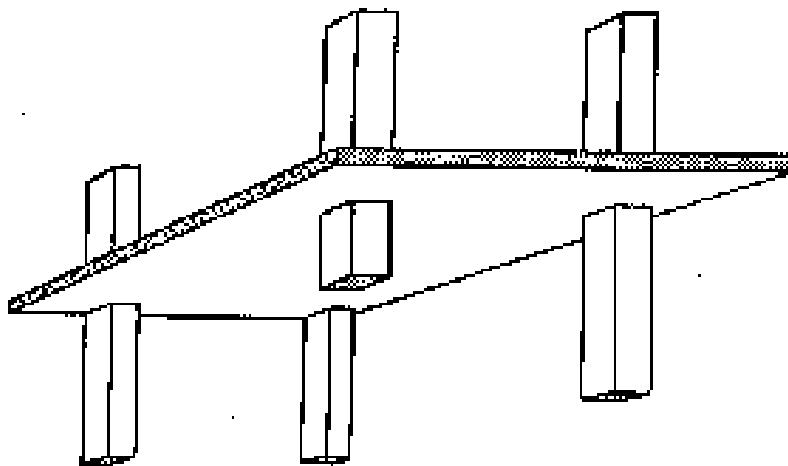
4.2 Yleisimpiä teräsbetonisen kerrostalon runkojärjestelmiä

Pilari-palkki-laattajärjestelmä (kuva 5) on ollut käytetyimpiä runkojärjestelmiä betonirakenteisissa rakennuksissa koko betonirakenteiden aikakauden ajan. Tässä rakenteessa laatta siirtää kuormitukset palkille joka puolestaan välittää ne pilareille. Kantavien väliseinien puuttuessa tämä runkojärjestelmä soveltuu hyvin käytettäväksi esimerkiksi toimistorakennuksissa tilojen muokattavuuden vuoksi.



KUVA 5. Pilari-palkki-laattajärjestelmä (Saarinen, Kinnunen & Tiira 1982, 504)

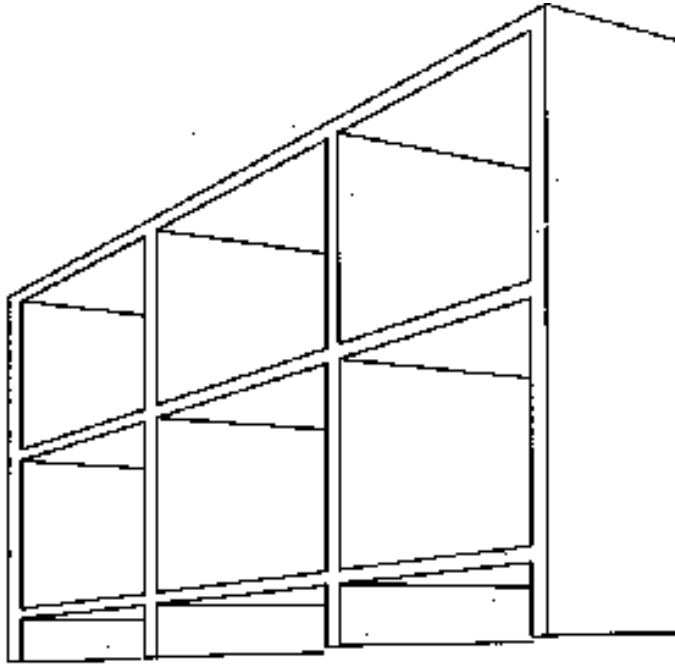
Pilari-laattajärjestelmä (kuva 6) toimii muuten rakenteellisesti samalla periaatteella kuin pilari-palkki-laattajärjestelmä, mutta kuormitukset siirretään suoraan laatalta pilareille. Tämän vuoksi pilarien läheisyydessä laattaan kohdistuu suurempia leikkausvoimia kuin palkillisessa rakenteessa. Laattaa voidaan tarvittaessa vahventaa pilarien kohdalta. Tällaista vahvennettua laattarakennetta kutsutaan sienilaataksi tai sienikatoksi.



KUVA 6. Pilari-laattajärjestelmä (Saarinen, Kinnunen & Tiira 1982, 505)

Solurunkojärjestelmä koostuu kantavista seinistä ja laatasta (kuva 7). Kantavat seinärakenteet on muottiteknisistä syistä sijoitettu samansuuntaisiksi ja lyhyemmän jännevälillä yleensä rakennuksen poikkisuuntaan. Solurungossa kuormat siirretään laattojen avulla kantaville seinille. Koska osa väliseinistä on kantavia, solurunkoista rakennusta

ja sen tiloja ei ole helppoa muuttaa jälkeenkäin. Solurunkoa käytetäänkin usein asuin-kerrostaloissa, koska rakennuksen pohjaratkaisua ei ole yleensä tarvetta muuttaa alkupe-
räisestä.



KUVA 7. Solurunko (Saarinen, Kinnunen & Tiira 1982, 504)

4.3 Palomääräysten vaikutus runkojärjestelmän valintaan

Korkeintaan kahdeksan kerroksisissa asuin-kerrostaloissa riittää yksi osastoitu uloskäytävä ja vaihtoehtoinen pelastusreitti esimerkiksi parvekkeiden tai ikkunoiden kautta. Uloskäytäväksi soveltuu näissä rakennuksissa osastoitu porraskäytävä. Yli kahdeksan kerroksisissa rakennuksissa tulee sen sijaan olla kaksi erillistä palolta suojattua uloskäytävää. Rakennuksen pohjaratkaisuja suunniteltaessa tämä asia on syytä ottaa huomioon jo varhaisessa vaiheessa. (Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa E1 2011.)

Kohdassa 4.2 esitellyistä runkojärjestelmistä solurunko eroaa joukosta. Solurunko onkin asuinrakennusten palosuunnittelun kannalta käytännöllinen runkovaihtoehto. Rakennuksen läpi kulkevat kantavat seinät omaavat paljon kantavuuskapasiteettia. Näin ollen väliseinät täyttävät usein jo valmiiksi palonkestävyysvaatimukset. Lisäksi kantavat väliseinät jakavat huoneistot jo valmiiksi palomääräysten mukaisiin palo-osastoihin. Uloskäytävä saadaan myös kätevästi osastoitua, kun porraskäytävä valetaan yhdeksi palo-

osastoksi. Solurunko täyttää siis palovaatimukset asuinkerrostaloissa hyvin. Tarvittaessa joidenkin palolle kriittisimpien rakenteiden kestävyyttä voidaan lisätä pinnoitteiden avulla.

Pilari-laatta- ja pilari-palkki-laattajärjestelmissä kuormitukset siirretään pilarien avulla perustuksille. Väliseinät eivät lähtökohtaisesti ota vastaan rakennuksen pystykuormituksia näissä runkojärjestelmissä, vaan niiden avulla tilat palo-osastoidaan ja ylipäänsä muokataan käyttäjän tarpeisiin soveltuvaksi. Asuinkerrostaloissa ei ole yleensä ole suurta tarvetta muuttaa pohjaratkaisua kuin korkeintaan asuntojen sisällä. Tästä syystä asuinkerrostalossa solurunko on käyttötarkoitukseen soveltuvampi ja myös usein kustannustehokkaampi ratkaisu.



KUVA 8. Asuntopalon aiheuttamia vaurioita (Kotilahti)

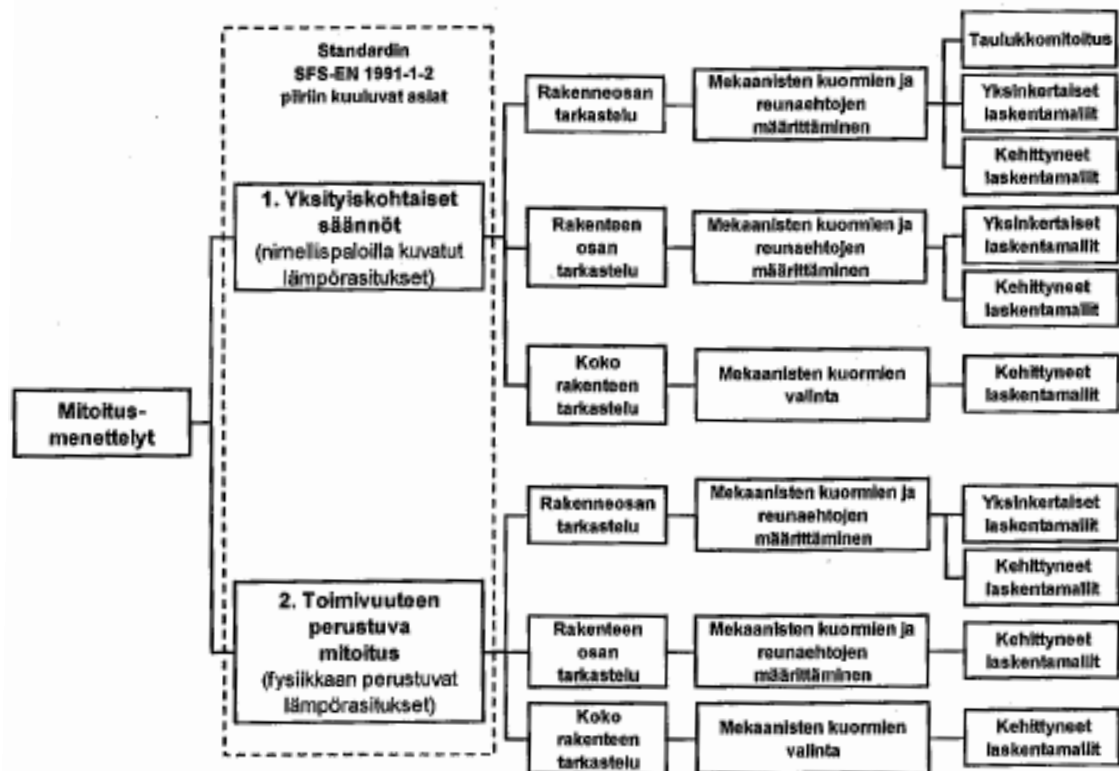
5 Teräsbetonirakenteen palomitoitus Eurokoodin mukaan

5.1 Yleistä

Eurokoodin mukaiseen mitoitukseen on siirretty Suomessa vähitellen. Nykyisin periaatteessa kaikki uudet rakennukset suunnitellaan Eurokoodin mukaan, mutta siirtymäaika on Eurokoodia ja betoninormeja käytetty rinnakkain.

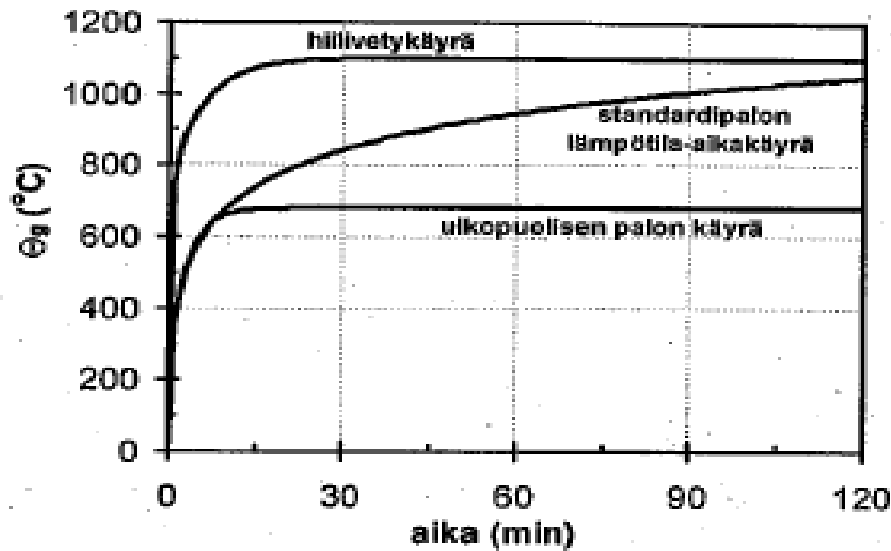
5.2 Rakenteellinen palomitoitus

Eurokoodin standardin SFS-EN 1991-1-2 mukaan kantavien rakenteiden palomitoituksessa voidaan käyttää kahta erilaista menettelytapaa (kuva 9). Yksityiskohtaisiin sääntöihin perustuvassa mitoituksessa palokuormitus määritellään etukäteen sovittujen nimellisten lämpötila-aikakäyrien perusteella esim. standardipalon lämpötila-aikakäyrän mukaan. Rakenteiden toimivuuteen perustuvassa mitoituksessa palokuormitus määritellään luonnollisen palon mallien avulla. Luonnollisen palon mallien määrittelyssä otetaan huomioon esimerkiksi fysikaalisien ja mekaanisten parametrien muutos palon aikana. (RIL 201-2-2011, 17-22.)



KUVA 9. Mitoitusmenettelyn vaihtoehdot (RIL 201-2-2011, 18)

Kummassakin menettelytavassa voidaan tarkastella joko yksittäistä rakenneosaa, rakenteen osaa tai koko rakennetta. Yksityiskohtaisiin sääntöihin perustuva mitoitus on lähestymistavaltaan yksinkertaisempi kuin toimivuuteen perustuva mitoitus, mutta antaa joissain tapauksissa hyvin konservatiivisia tuloksia. Yksinkertaiset palomallit antavat joissain tapauksissa etuja taulukkomitoitukseen nähden, kun taas kehittyneillä palomalleilla tehtävä mitoitus on useasti tehokkaampaa kuin taulukkomitoituksen perusteella tehtävä mitoitus. Tietokoneohjelmat ovat mahdollistaneet kehittyneiden laskentamallien laajemman käytön. (RIL 201-2-2011, 17-18.)



KUVIO 1. Nimellisten lämpötila-aikakäyrien kuvaajat (RIL 201-2-2011, 27)

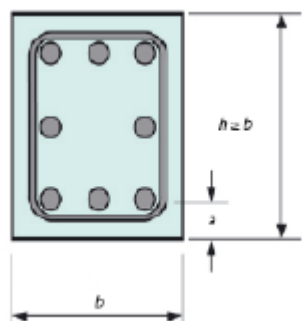
TAULUKKO 2. Nimelliset lämpötila-aikakäyrät ja vastaavat lämmönsiirtymiskertoimen arvot ajan yksikkönä ollessa minuutti (RIL 201-2-2011, 26)

Nimellinen lämpötila-aikakäyrä	Kaasun lämpötila Θ_g [°C]	Lämmönsiirtymiskerroin α_c [W/(m ² K)]
Standardipalon lämpötila-aikakäyrä	$\Theta_g = 20 + 345 \log_{10} (8 t + 1)$ (3.4)	25
Ulkopuolisen palon käyrä	$\Theta_g = 20 + 660 (1 - 0,687 e^{-0,32t} - 0,313 e^{-3,8t})$ (3.5)	25
Hiilivetykäyrä	$\Theta_g = 20 + 1080 (1 - 0,325 e^{-0,167t} - 0,675 e^{-2,5t})$ (3.6)	50

Rakenteiden palomitoituksessa huomioidaan paloskenaariot eli mahdolliset uhkakuvat palotilanteessa, joiden perusteella määritellään tarvittavat mitoituspalot (kuvio 1). Mitoituspalon oletetaan kohdistuvan vain yhteen rakennuksen palo-osastoon kerrallaan. Mitoituspalon perusteella tehdään rakenneosan lämpötila-analyysi, jossa otetaan huomioon mitoituspalon sijainti rakenneosaan nähden. Tämän jälkeen tarkastellaan rakenteen mekaanista toimintaa lämpötila-analyysin pohjalta, jossa tarkasteltavana suureena on joko aika, lujuus tai rakenteen lämpötila. Tulipalossa syntyviä kuormia käsitellään mitoituksessa onnettomuuskuormina. (RIL 201-2-2011, 23-24.)

5.3 Taulukkomitoitus

Eurokoodin taulukkomitoitus perustuu standardipaloon ja mitoitusratkaisuja voidaan soveltaa aina 240 minuuttiin asti. Taulukkoarvoja käytettäessä palomitoituksen lisätarkastuksia ei tarvitse tehdä leikkauskestävyyden, ankkurointiyksityiskohtien tai lohkeilun osalta. Taulukkomitoitus perustuu palotilanteen mitoituskuormien pienennyskertoimen (μ_{fi}) arvoon 0,7. Tämän katsotaan olevan varmalla puolella oleva likiarvo, joten palotilanteen kuormitusta ei tarvitse erikseen tarkistaa. Taulukoista saadaan rakenteen poikkileikkauksen vähimmäismitta ja raudoituksen keskiöeteisyys (kuva 10). Kaikki materiaalien osavarmuusluvut ovat 1,0. (Ilvesjoki 2012, 155-158.)



KUVA 10. Poikkileikkausmittojen merkinnät taulukkomitoituksessa (Ilveskoski 2012, 156)

Taulukkoa 3 voidaan käyttää pilarin mitoituksessa, jos mitoittettavan pilarin nurjahduspituus on palotilanteessa enintään kolme metriä, ensimmäisen kertaluvun epäkeskisyys on korkeintaan 0,4 ja raudoituksen pinta-alan määrä on vähintään neljä prosenttia betonin pinta-alasta poikkileikkauksessa.

TAULUKKO 3. Pilarin standardipalonkestävyys (Ilveskoski 2012, 158)

Standardipalonkestävyys	Vähimmäismitat (mm)			
	Pilarin leveys b_{min} / pääterästen keskiöetäisyys a			
	Pilarin altistus useammalta kuin yhdelta sivulta			Pilarin altistus yhdelta sivulta
	$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$	$\mu_{fi} = 0,7$
R 30	200/25	200/25	200/32 300/27	155/25
R 60	200/25	200/36 300/31	250/46 350/40	155/25
R 90	200/31 300/25	300/45 400/38	350/53 450/40 ^a	155/25
R 120	250/40 350/35	350/45 ^a 450/40 ^a	350/57 ^a 450/51 ^a	175/35
R 180	350/45 ^a	350/63 ^a	450/70 ^a	230/55
R 240	350/61 ^a	450/75 ^a	—	295/70

6 Teräsbetonin palomitoitus betoninormien mukaan

6.1 Yleistä

Vaikka Eurokoodit ovat tulleet viralliseksi mitoitus tavaksi myös Suomessa, on kuitenkin lähes kaikki betonirakenteiden mitoitus tehty tähän asti Suomen Rakentamismääräyskokoelma B4:n mukaan. Tästä johtuen on suunnittelijan syytä hallita vähintään perusteet betoninormien mukaisesta mitoituksesta.

6.2 Rakenteiden palonkestävyys ja palonkestävyysvaatimukset

Kantavilta raketeilta edellytetään kestävyyttä (R) palotilanteessa. Kantavan rakenteen palonkestävyys määritellään sortumis- tai taipumisrajan saavuttamisen perusteella. Rakenteilta voidaan vaatia myös osastoivuutta (E ja I) palotilanteessa. Tällöin tarkastellaan rakenteen eristävyyttä lämmön siirtymistä vastaan ja tiiviyttä palokaasujen läpi tunkeutuvuutta vastaan. Edellä mainittuja rakenteen tai rakennusosan kestävyyttä ja osastoivuutta mitataan palonkestoajalla. Palonkesto aika on yleensä minuutteina ilmoitettua aika, jonka rakennusosan kantokyvyn ja osastoivuuden edellytetään kestävän kohteelle määritellyissä palotilanteissa. Palo-olosuhteet määritellään nimellisten lämpötila-aikakäyrien mukaan tai palomalleihin perustuen.

Rakenteen kantokyky katsotaan menetetyksi rakenteen sortuessa tai, jos rakenteen taipuman lisäys on suurempi kuin $L^2/9000 h$, jossa L on rakenteen jännemitta ja h poikki-

leikkauksen toimiva korkeus. Rakenteen taipuman ylittäessä arvon $L/30$ katsotaan taipumisraja tila saavutetuksi. Edellä mainitut taipuman ja taipumisnopeuden arvot voidaan ylittää tietyissä tapauksissa. Tällaisia tapauksia ovat ne joissa rakenteeseen ei tukeudu muita kantavia tai osastoivia rakennusosia eikä rakenne taipuessaan voi vaurioittaa alapuolisia kantavia ja osastoivia rakenteita. Tällaisissa tilanteissa tulee kiinnittää erityistä huomiota rakenteen muodonmuutoskykyyn tuilla sekä varmistaa ettei rakennuksen vakavuus ja kantokyky vaarannu. Lisäksi osastoivien rakenteiden tulee säilyttää eristävyytensä ja tiiviytensä muodonmuutoksista huolimatta.

Rakenteen eristyskyky katsotaan menetetyksi, kun rakenteen palon vastakkaisen pinnan keskimääräinen lämpötilan nousu ylittää 140 °C tai suurin lämpötilan nousu ylittää 180 °C tai kun suurin lämpötila ylittää 220 °C. (Betoninormit 2012, 177-178.)

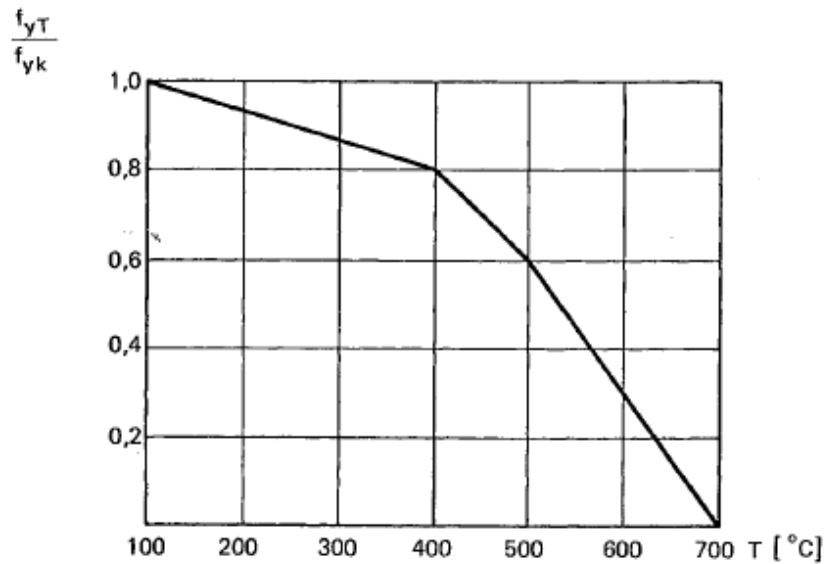
6.3 Palonaikaiset kuormitukset ja varmuuskertoimet

Tulipalon aikana hyötykuormina käytetään rakenteiden suunnittelua varten määriteltyjä ominaiskuormia. Kuitenkin oleskelu- ja kokoontumiskuorman arvona saa käyttää 0,75 kN/m² ja tungoskuorman arvona 2,0 kN/m². Lumikuorman arvona voidaan käyttää 50 % ja tuulikuorman arvona 30 % ominaiskuorman arvosta. Lisäksi huomioidaan oleskelu- ja kokoontumiskuormien vähennykset pystyrakenteissa. Kuormitusyhdistelmiä valittaessa voidaan olettaa, etteivät lumi- ja tuulikuorma esiinny samanaikaisesti. Palomitoituksessa kuorman ja materiaalin osavarmuuskertoimenä käytetään arvoa 1,0. (Betoninormit 2012, 179.)

6.4 Laskennallinen mitoitus

Kantavien rakenteiden palonkestävyyttä laskettaessa otetaan huomioon rakenteen lämpötilan nousu, materiaaliominaisuuksien muuttuminen lämpötilan noustessa, raudoituksen ja betonin yhteistoiminta lämpötilan noustessa, rakenteen lämpölaajeneminen sekä staattisesti määräämättömissä rakenteissa voimien uudelleen jakautuminen. Edellä mainittujen tekijöiden vaikutus rakenteisiin tulee olla riittävällä tarkkuudella tutkimuksien avulla osoitettu.

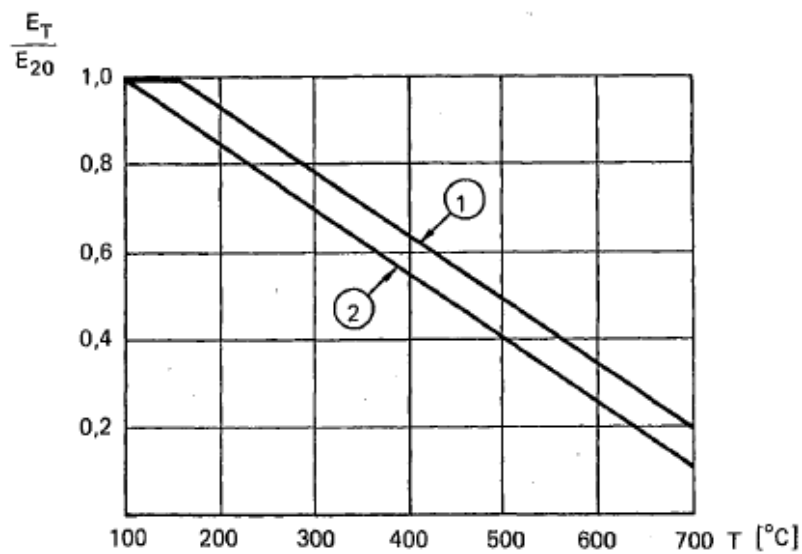
Lämpötilan noustessa betoni- ja jänneteräksen vetolujuuden ja kimmomoduulin arvot laskevat (kuviot 2-4). Betoniteräksien kriittisenä lämpötilana pidetään lämpötilaa, jossa teräksen myötölujuus tai 0,2-rajaa vastaava lujuus on lämpötilan nousun vaikutuksesta laskenut alle palotilanteen kuormituksista aiheutuneen teräsjännityksen. (Betoninormit 2012, 180-181.)



f_{yT} = betoniteräksen lujuus lämpötilassa T

f_{yk} = betoniteräksen ominaislujuus, joka on myötölujuus tai 0,2 –rajaa vastaava lujuus +20°C:ssa.

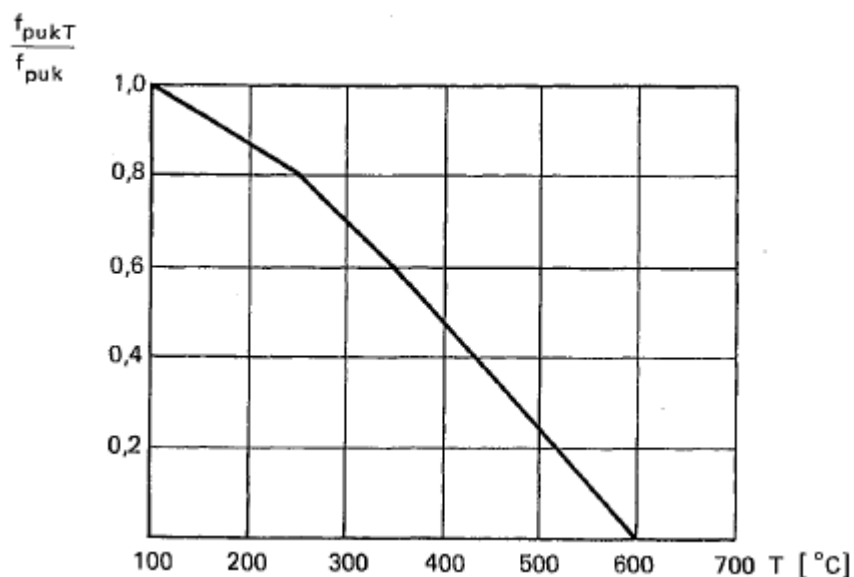
KUVIO 2. Lämpötilan vaikutus betoniteräksen lujuuteen (Betoninormit 2012, 180)



E_T = teräksen kimmokerroin lämpötilassa T

E_{20} = teräksen kimmokerroin +20°C:ssa.

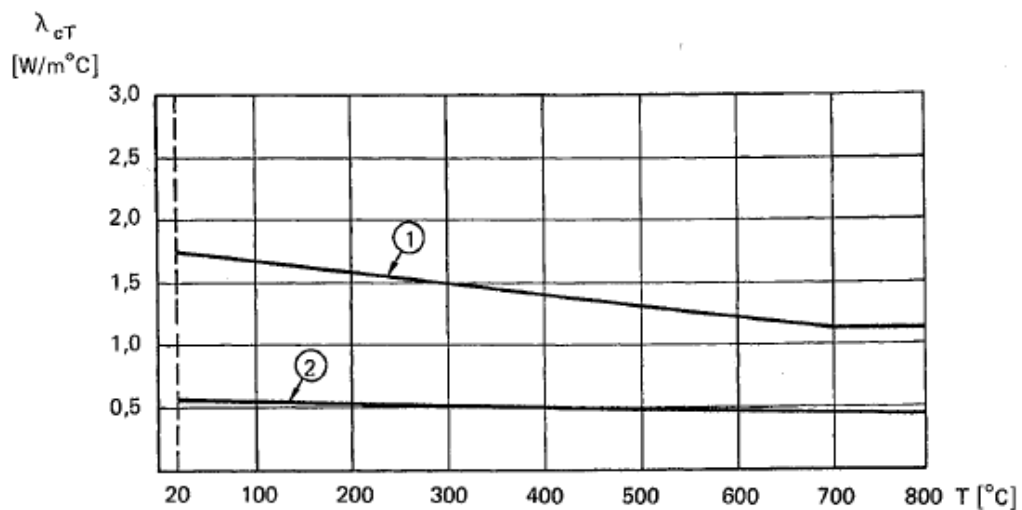
KUVIO 3. Lämpötilan vaikutus betoniteräksen (1) ja jänneteräksen (2) kimmomoduliin (Betoninormit 2012, 181)



f_{pukT} = jänneteräksen lujuus lämpötilassa T
 f_{puk} = jänneteräksen ominaismurtolujuus $+20^\circ\text{C}$:ssa.

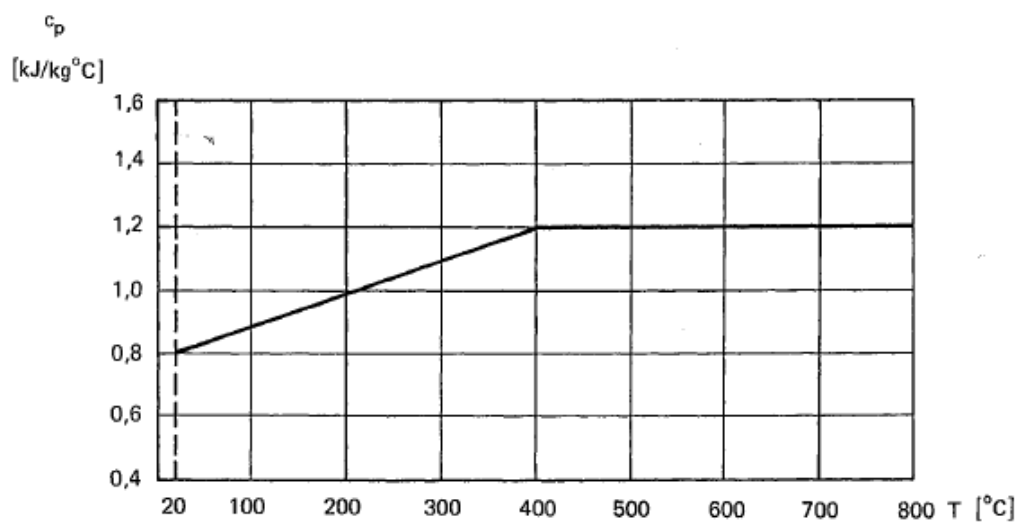
KUVIO 4. Lämpötilan vaikutus kylmävedetyn jänneteräksen lujuuteen (Betoninormit 2012, 181)

Lämpötilan nousu vaikuttaa betonin lämmönjohtavuuteen, ominaislämpökapasiteettiin, lämpötilanjohtavuuteen, lämpölaajenemiseen, puristuslujuuteen ja vetolujuuteen (kuviot 5-10). Rakenteen lämpötilan nousua määritettäessä voidaan käyttää myös luotettaviin koetuloksiin perustuvia käyrästöjä ja taulukoita. Kosteuden vaikutusta betonin termisiin ominaisuuksiin voidaan huomioida esimerkiksi muuttamalla termisten ominaisuuksien arvoja alle 150°C :n lämpötila-alueella. (Betoninormit 2012, 181-182.)

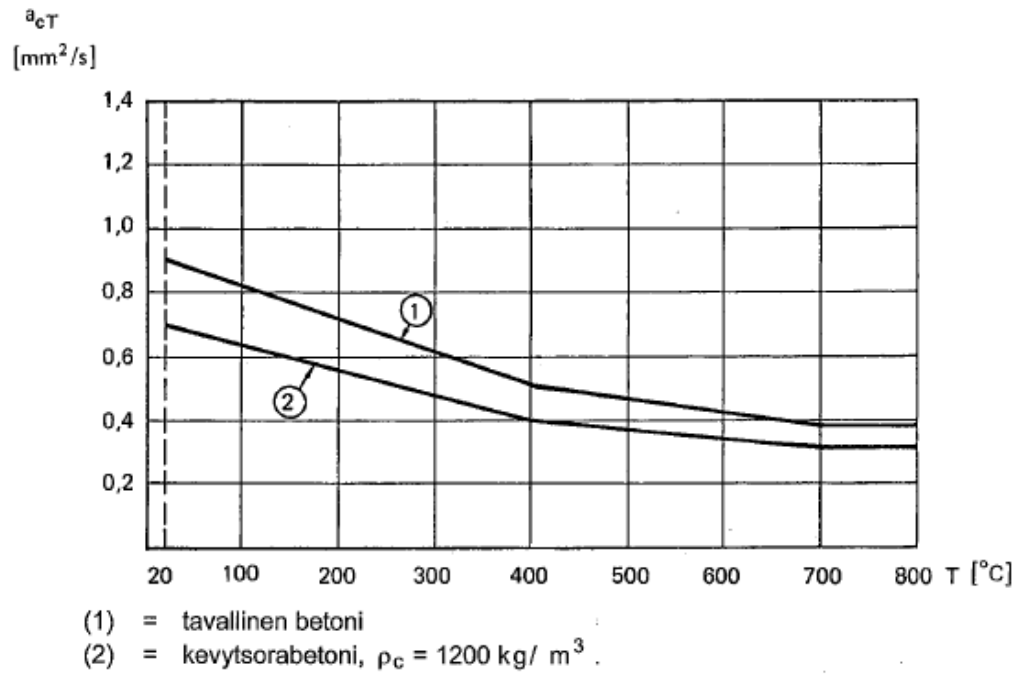


- (1) = tavallinen betoni
 (2) = kevytsorabetoni, $\rho_c = 1200 \text{ kg/m}^3$.

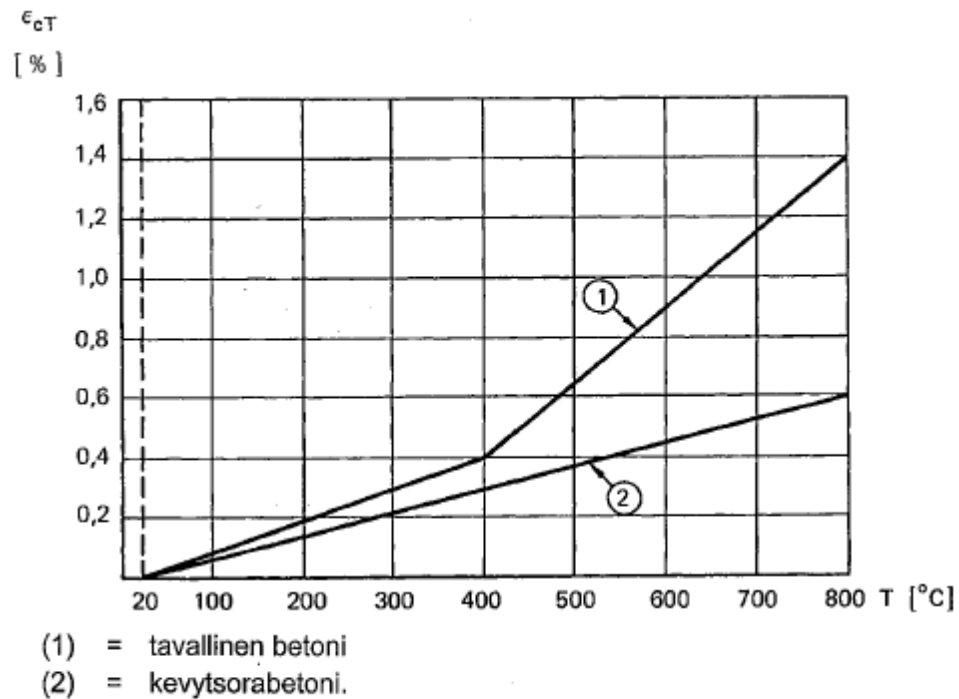
KUVIO 5. Lämpötilan vaikutus kuivan betonin lämmönjohtavuuteen (Betoninormit 2012, 182)



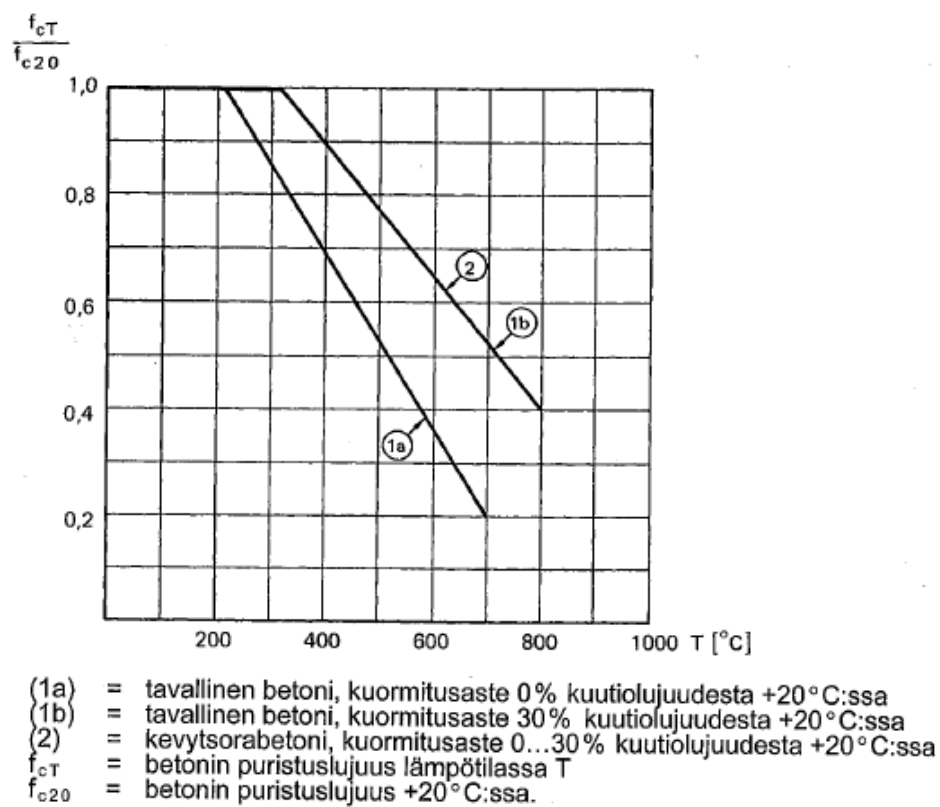
KUVIO 6. Lämpötilan vaikutus kuivan betonin ominaislämpökapasiteettiin (Betoninormit 2012, 182)



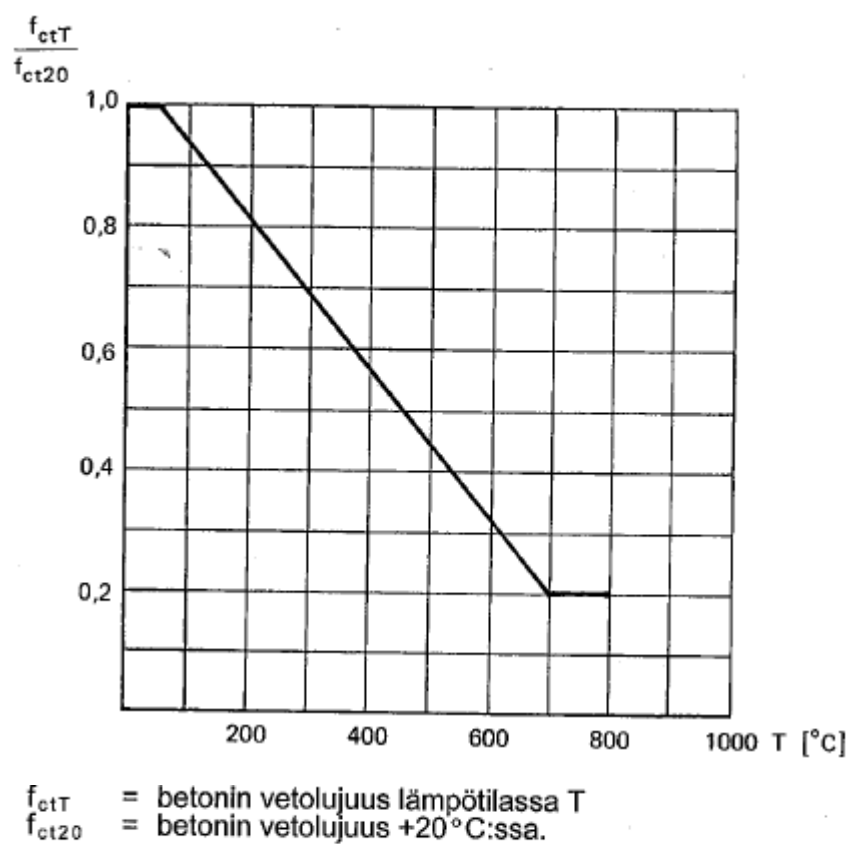
KUVIO 7. Lämpötilan vaikutus kuivan betonin lämpötilanjohtavuuteen (Betoninormit 2012, 183)



KUVIO 8. Lämpötilan vaikutus kuormittamattoman betonin lämpölaajenemiseen (Betoninormit 2012, 183)



KUVIO 9. Lämpötilan vaikutus betonin puristuslujuuteen (Betoninormit 2012, 184)



KUVIO 10. Lämpötilan vaikutus betonin vetolujuuteen (Betoninormit 2012, 184)

6.5 Taulukkomitoitus

Betoninormien mukaista taulukkomitoitus voidaan käyttää ilman tarkempia selvityksiä silloin, kun pysyvien kuormien osuus kokonaiskuormasta on enintään 80 %. Tällöin terästen kriittisenä lämpötilana pidetään sitä rajaa, kun myötölujuus on laskenut 60 %:iin 20 °C:een lämpötilassa olevan teräksen myötölujuudesta. Terästen A500HW ja B500K osalta tämä kriittinen lämpötila on 500 °C. (Betoninormit 2012, 185.)

Taulukon 4 arvoja voidaan käyttää, jos pilarin pienempi sivumitta on 280 mm tai sen hoikkuusluku on pienempi kuin 10 tai sen ollessa pääasiassa vaakavoimien kuormittama. Taulukon arvoja voidaan soveltaa teräksen kriittisen lämpötilan mukaan. Betoni-
peitteen vähimmäispaksuutta kasvatetaan yksi millimetri jokaista 10 °C kohti, jonka terästen kriittinen lämpötila alittaa 500 °C. (Betoninormit 2012, 192.)

TAULUKKO 4. Suorakaiteen muotoisen pilarin pienempi sivumitta ja betonipeitteen vähimmäispaksuus (Betoninormit 2012, 193)

Palonkesto aika [min]	30	60	90	120	180	240
a) tavallinen betoni Poikkileikkauksen piiristä palolle alttiina kolme tai neljä sivua						
b_{min}	150	180	240	280	380	450
c	15	20	30	40	55	75
b	180	240	280	380	480	580
c	10	15	25	35	45	65
kaksi sivua						
b_{min}	125	160	200	240	280	380
c	10	20	25	35	45	65
yksi sivu						
b_{min}	100	120	140	160	200	240
c	10	20	30	35	35	35
b) kevytsorabetoni Poikkileikkauksen piiristä palolle alttiina kolme tai neljä sivua						
b_{min}	150	160	200	240	320	360
c	15	20	35	45	55	75
kaksi sivua						
b_{min}	125	130	160	180	240	280
c	15	20	30	40	45	65
yksi sivu						
b_{min}	100	100	115	130	160	180
c	10	20	30	35	35	35

7 Palon aiheuttamat vauriot betonirakenteissa

7.1 Yleistä vaurioista

Tulipalosta aiheutuu rakenteille eriasteisia vaurioita riippuen rakenteiden sijainnista palopesäkkeeseen nähden, palon voimakkuudesta, ilmanvaihdosta ja sammutustöiden nopeudesta. Korkeasta lämpötilasta ja tulesta aiheutuu suoria vaurioita huonetilan rakenteille, jossa varsinainen palopesäke sijaitsee. Viereiset huonetilat kärsivät usein nokivaurioista ja palopesäkkeestä kauempana sijaitsevilla huonetiloissa havaitaan usein savusta aiheutuvaa hajuhaittaa. Vedellä tulipaloa sammutettaessa aiheutuu usein vesivahinkoja palotilan viereisiin sekä alapuolisiin rakenteisiin.



KUVA 11. Tulipalon aiheuttamia vaurioita asuinhuoneistossa (If-Service Oy)

Teräsbetonirunkoisissa asuinkeuhastaloissa ja toimistorakennuksissa palovauriot aiheuttavat vaaraa runkorakenteiden kantavuudelle harvoin. Tämä johtuu betonin hyvästä palon kestävydestä, yleensä matalasta palokuormasta ja tehokkaasta palontorjunnasta. Yleensä tapauksissa joissa kantavuus vaarantuu, on olosuhteissa selkeästi jotain tavan-

omaisesta palovahingosta poikkeavaa. Rakennuksessa on esimerkiksi käsitelty tai säilytetty sallittua suurempaa määrää tulen arkaa ainetta, palon sammutustyöt ovat jotenkin estyneet tai palo on päässyt laajentumaan huomaamattomasti. Rakenteet ovat saattaneet myös kärsiä jostain muusta rasituksesta ennen paloa, joka on jo valmiiksi heikentänyt kantavuutta ja vastuskykyä paloa vastaan. (Sandt 2015.)

7.2 Savusta ja noesta aiheutuvat vauriot

Palamisen seurauksena syntyy erilaisia yhdisteitä riippuen palavasta materiaalista. Monet näistä yhdisteistä ovat ihmiselle vaarallisia ja niihin yleensä liittyy voimakas haju. Tulipalon aikana lämpötila nousee ja tilaan syntyy ylipaine. Ylipaineen seurauksena yhdisteet tunkeutuvat rakenteisiin ja leviävät viereisiin sekä yläpuolisiin tiloihin. Koska rakennuspaloissa palaminen on käytännössä aina epätäydellistä, syntyy palamisen seurauksena nokea. Noki tarttuu helposti erilaisille pinnoille ja aiheuttaa niiden likaantumista. (Sandt 2015.)

7.3 Teräsbetonin käyttäytyminen palotilanteessa

Betoni on materiaalina palamaton ja paloa levittämätön, eikä siitä haihdu myrkyllisiä kaasuja. Betonin ja teräksen lämpölaajenemiskertoimet ovat suunnilleen yhtä suuret, joten materiaalit toimivat hyvin yhdessä myös lämpötilan kohotessa. Betonin lämpökapasiteetti on korkea, joten se kestää hyvin lämpörasitusta. Sitä käytetäänkin usein myös teräsrunkoisissa rakennuksissa suojaamaan palolle herkempiä teräsrakenteita. Betonirakenteen lämpötilan kohotessa siitä poistuu kosteutta, sen kiviaines laajenee ja sementti-liima kutistuu. Tällaiseen epähomogeeniseen materiaaliin syntyy väistämättä eriasteisia halkeamia, jotka vaikuttavat betonin kantokykyyn.

TAULUKKO 5. Betonissa tapahtuvat reaktiot eri lämpötiloissa. (Betoniteknikan oppikirja 2004, 110)

Lämpötila-alue °C	Vallitseva reaktio	Reaktiotyyppi
20...300	Huokosveden poistuminen	Veden poistuminen
300...490	Adsorboituneen veden poistuminen	Veden poistuminen
490...540	Kalsiumhydroksidin hajoaminen	Hajoaminen
573	Kvartsin kiderakenteen muutos	Muutos
580...750	β -dikalsiumsilikaatin muodostuminen	Hajoaminen

Palotilanteessa betonirakenteen kantokyky vaarantuu yleensä lämpörasituksen kestäessä pitkään tai mikäli betonissa pääsee tapahtumaan räjähdysmäistä lohkeilua. Pitkään jatkuva lämpörasitus ei sinällään ole rakennesuunnittelun kannalta ongelmallinen asia, sillä betoninrakenteen sisäosan kestää lämmettä pitkään ja betoniteräksien lämpötila pysyy näin matalana. Sen sijaan pintabetonissa tapahtuva räjähdysmäinen lohkeilu ja tämän seurauksena ohentunut teräksiä suojaava betonipeite johtavat terästen nopeaan lämpötilan nousuun. Tällaisessa tilanteessa rakenteen kantokyky menetetään huomattavasti nopeammin kuin tilanteessa missä betonipeite säilyy pidempään suunnitellun paksuisena. Täysin selvää syytä betonin räjähdysmäiselle lohkeilulle ei ole saatu selvitettyä. Lohkeilua saattaa tapahtua jo palon alkuvaiheessa tai se saattaa edetä asteittain lämpötilan kohotessa. Suurimpana lohkeilun aiheuttajana pidetään kuitenkin betonin korkeaa kosteuspitoisuutta, sillä betonin sisällä höyrystyvä vesi aiheuttaa betoniin kasvavaa höyrönpainetta. Lämpötilan noustessa ja paineen kasvaessa aiheutuu pintakerroksen ja vesihöyryllä kyllästetyn kerroksen väliin jännitys, jonka seurauksena kuumentunut kuiva pintakerros irtoaa räjähdysmäisesti. Lohkeiluun on havaittu olevan myös vaikutusta betonin muilla ominaisuuksilla, lämpötilan vaihtelulla sekä rakenteen ulkoisilla ja sisäisillä kuormituksilla.

Betonin vaurioiden ollessa palon jälkeen vähäisiä ei siihen yleensä kohdistu suurta korroosio vaurion riskiä. Luonnollisesti korroosioaurioiden riskiin vaikuttavat suuresti palosta riippumattomat ympäristöstä johtuvat rasitukset. Kuitenkin jos palossa on palanut PVC-muoveja, saattaa rakenteeseen kohdistua eräs piilevä riskitekijä. PVC-muovien palaessa syntyy kloorivetyä, josta syntyy sen yhdistyessä sammutusveteen suolahappoa. Suolahappo saattaa päästä palossa betoniin syntyneiden halkeamien kautta aiheuttamaan vaurioita raudoitukselle. Yleensä suolahappo ei pääse tiiviistä betonista läpi vaurioittamaan raudoitusta, mutta sammutustilanteessa betonin ja veden välinen lämpötilaero

saattaa aiheuttaa rakenteeseen suuria halkeamia, joiden kautta nestemäinen happo pääsee kulkeutumaan raudoitukseen asti. (Betonitekniiikan oppikirja 2004, 107-116.)

8 Palovaurioiden korjaus

8.1 Vaurioiden kartoitus

Ennen varsinaisen korjaustyön aloittamista tulee kartoittaa palovahingosta aiheutuneet vauriot. Ensimmäisen arvion vaurioista tekee palohenkilöstö sammutustyön aikana ja välittömästi sen jälkeen. Tässä vaiheessa pyritään ensisijassa välttämään henkilövahingoilta ja rajoittamaan palon leviämistä. Sammutustöiden jälkeen suoritetaan vahinkokartoitus, jossa selvitetään pääasiassa aistinvaraisia keinoja käyttäen vahingosta aiheutuneita vaurioita. Kartoituksen perusteella laaditusta raportista käy selville vaurioiden laatu ja laajuus. Kartoituksessa otetaan yleensä myös kantaa vahingon syntymisen syihin ja tuleviin korjaustoimenpiteisiin. (Sandt 2015.)

Rakenteiden vaurioita arvioitaessa voidaan tarvittaessa käyttää apuna erilaisia tutkimusmenetelmiä. Silmämääräistä arviointia sekä muita aistinvaraisia keinoja voidaan käyttää läpi koko korjausprosessin. Vasarointi on myös kevyt ja nopea tapa selvittää rakenteen epäilytä rapautumista. Monesti pienissä palovahingoissa silmämääräinen arviointi sekä vasarointi riittävät vaurioiden selvittämiseksi, mutta jos epäillään vaurioiden vaarantavan rakenteen kantavuuden tai ylipäänsä rakennuksen turvallisuuden on syytä tehdä tarkempia tutkimuksia. Suunnittelun tueksi voidaan betonin palon jälkeistä lujuutta selvittää koepalojen ja vetokokeen avulla. Vetokokeen tuloksia tarkasteltaessa on kuitenkin syytä huomioda myös tuloksiin vaikuttavat palosta riippumattomat seikat, kuten mahdolliset rakenteen aiemmat rasitukset ja betonin laatu. Korjaustöiden yhteydessä voidaan betonin vaurioita arvioida piikkaamalla. Paikallisesti rapautunut betoni usein poistetaan joka tapauksessa purkutöiden yhteydessä, joten myös purkutöiden jälkeen voidaan tehdä lisätutkimuksia. Korjaussuunnittelijalla on oltava riittävät tiedot vaurioiden laajuudesta sekä laadusta lopullisesta korjausratkaisusta päätettäessä. (Betonirakenteiden korjausohjeet 2007, 16-21.)

Taulukossa 6 on kuvattu erilaisten tutkimusmenetelmien soveltuvuutta käytettäväksi korjausprosessin eri vaiheissa. Vahinkokartoitusta voidaan pitää eräänlaisena vahingon jälkeisenä kuntotutkimuksena. Kokeellisia ja näytteenottoon perustuvia tutkimusmenetelmiä käytetään yleensä, kun arvioidaan rakenteessa pitkäaikaisista rasituksista aiheutuneita vaurioita. Kerrostaloissa tapahtuneista palovahingoista ei yleensä aiheudu niin

suuria vaurioita että näin laajoihin tutkimuksiin olisi tarvetta. Palosta aiheutunut rapautuminen on yleensä paikallista, ja varsinkin pienemmissä vahingoissa vauriot harvoin ylettyvät betonin pintakerrosta pidemmälle. Laajoissa vahingoissa sen sijaan kantavat rakenteet saattavat vaurioitua niin pahasti että on aiheellista tutkia rakenteiden kuntoa myös kokeellisesti. (Sandt 2015.)

TAULUKKO 6. Rapautumavaurioiden paikallistamiseen ja niiden laajuuden määrittämiseen soveltuvia menetelmiä (Betonirakenteen korjausohjeet 2007, 20)

	Menetelmän tarkkuus		Soveltuvuus eri vaiheissa		
	Rapautumisaste	Edustavuus	Kunto-tutkimus	Suunnittelu	Toteutus
Silmämääräinen arviointi	Erittäin pitkälle edennyt	Eritt. laaja	+	(+)	+
Vasarointi	Erittäin pitkälle edennyt	Laaja	+	(+)	+
Vetokoe	Pitkälle edennyt	Pistemäinen	+	+	+
Ohuthie / Pintahie	Alkava	Pistemäinen	+	(+)	-
Mek. piikkaus	Pitkälle edennyt	Pistemäinen	-	-	+
Vesipiikkaus	Alkava	Laaja-alainen	-	-	+
+ = soveltuu käytettäväksi (+) = ei yleensä käytetä - = ei yleensä soveltu käytettäväksi					

TAULUKKO 7. Vetokokeesta saatavien lujuusarvojen tulkinta (Betonirakenteiden korjausohjeet 2007, 21)

	Vetolujuus	Murtotapa ja -kohta	Huomautuksia
Pitkälle edennyttä rapautumaa	Luokkaa alle 0,5 MPa	<ul style="list-style-type: none"> - Kiviainesrakeiden pintaa pitkin - Murtopinnalla saattaa esiintyä suolamuodostumia (leveät halkeamat) - Murtokohta usein lähellä pintaa 	Tulkinta voi olla ongelmallista, jos <ul style="list-style-type: none"> - betonin vetolujuus on ollut alun perinkin heikko - kiviaineena käytetty pyöreää luonnonkiviainesta tai muutoin heikkolujuuksista kiviainesta - rakenteessa on muita esim. kulvumisesta tai kuormituksesta aiheutuneita halkeamia - näytteessä on raudoitusta
Jonkinasteista rapautumaa	Luokkaa 1,0 MPa	<ul style="list-style-type: none"> - Murto kiviainesrakeiden pintaa pitkin - Murto usein lähellä pintaa 	
Ei rapautumista	Luokkaa 1,5 MPa tai yli	<ul style="list-style-type: none"> - Murto kiviainesrakelta rikkova - Murtopinta suora ja tasainen 	

8.2 Nokivaurioiden puhdistus ja hajunpoisto

Tulipalossa syntyvä noki ja savu likaavat pintoja palopesäkkeen läheisyydessä. Noki saadaan usein puhdistettua pinnoilta käyttämällä tavanomaisia siivousmenetelmiä ja puhdistusaineita. Runsas nokilaskeuma ja tulipalosta aiheutuva ylipaine saattavat kui-

tenkin liata pinnoitteet pahasti, jolloin ainoa vaihtoehto vaurioiden siistimiseen on pinnoitteiden uusiminen.

Tulipalossa syntyvä savu aiheuttaa voimakasta kitkerää hajua. Hajuhaittaa havaitaan varsinaisen palohuoneiston lisäksi usein myös viereisissä tiloissa ja huoneistoissa. Hajun poistamiseksi on käytössä monia erilaisia menetelmiä. Otsonointi, ionisointi ja kemialliset käsittelyt perustuvat pahanhajuisten molekyyliden pilkkomiseen vähemmän pahan hajuisiksi molekyyleiksi. Hajua voidaan myös koittaa peittää miellyttävämmällä tuoksulla esimerkiksi ilmanraikastimen avulla tai se voidaan yrittää kapseloida rakenteeseen kapselointi maalauksella. (Sandt 2015.)

Otsonointi perustuu otsonin kykyyn reagoida muiden molekyyliden ja atomien kanssa. Otsonimolekyyli koostuu kolmesta happiatomista ja itsessään se hajoaa nopeasti kahdesta happiatomista koostuvaksi happimolekyyliksi sekä yhdeksi happiatomiksi. Kahdesta happiatomista muodostuva molekyyli on tavanomainen ilmasta hengittämämme happi. Sen sijaan yksittäinen happiatomi on hyvin reaktiivinen. Molekyyliden pilkkominen otsonoimalla perustuu nimenomaan tämän yksittäisen happiatomin reaktiivisuuteen. Happiatomi reagoi ilmassa olevien molekyyliden kanssa pilkkoen ne lopulta vedeksi ja hiilidioksidiksi. Otsonoinnin hyviä puolia on se, ettei siinä jouduta käyttämään kemikaaleja. Happiatomin reaktiivisuudesta johtuen otsonointi on kuitenkin vaarallista ihmisille ja muille elollisille olennoille. Hengitettäessä yksittäinen happiatomi reagoi kehon molekyyliden kanssa ja aiheuttaa näin erilaisia kudosvaurioita ensisijaisesti keuhkoissa. Otsonoitava tila onkin eristettävä huolellisesti käsittelyn ajaksi ja tuuletettava hyvin sen jälkeen. Otsonointi saattaa aiheuttaa vaurioita herkissä materiaaleissa. Ionisointi ja kemialliset menetelmät perustuvat otsonoinnin tapaan molekyyliden pilkkomiseen. Ionisoinnissa ilma pilkotaan ensin positiivisiksi ja negatiivisiksi ioneiksi, jotka reagoivat pahanhajuisten molekyyliden kanssa. Kemiallisissa menetelmissä käytetään aineita, jotka reagoivat molekyyliden kanssa. (Belloni, Villberg, Tillander, Saarinen & Palokoski 2005, 15-18.)

Otsonointi, ionisointi ja kemialliset menetelmät lyhentävät huoneiston savun hajun poistumista ja neutraloitumista. Tuulettamiseen verrattuna käsittelyaika lyhenee karkeasti arvioituna viikoista tunteihin. Kyseisillä menetelmillä ei kuitenkaan päästä vaikuttamaan kovinkaan syvälle varsinaiseen rakenteeseen. Tulipalon aikana palossa syntyneet molekyylit tunkeutuvat ylipaineen ja betonin lämpenemisen seurauksena rakenteen si-

sään. Rakenteen jäähtyessä hajua aiheuttavat molekyylit koteloituvat rakenteeseen ja saattavat ilman puhdistuksesta huolimatta tunkeutua takaisin sisäilmaan. Hajuongelmaa voidaan ilmanpuhdistus käsittelyn lisäksi yrittää korjata kapselointimaalauksella. Kapselointimaalauksen ajatuksena on sulkea rakenteen pinta ja näin vangita pahanhajuiset molekyylit rakenteeseen. Kuitenkin myös kapselointimaalaukseen liittyy molekyylien läpätunkeutumisen riski. Pääasiassa kuitenkin hajuhaitta pienenee merkittävästi ja mahdollinen rakenteista ilmaan tunkeutuva haju tasoittuu itsestään ajan kuluessa.

Hajun peittäminen toisella miellyttävämmällä hajulla ei ole yleensä yksinään varteenotettava hajunpoiston vaihtoehto. Tätä menetelmää käytetään yleensä muiden menetelmien tukena. Menetelmää käytetään yleensä esimerkiksi työolojen parantamiseksi korjausvaiheessa tai tapauksissa joissa hajuhaitta on vähäistä eikä raskaampia toimenpiteitä nähdä tarpeelliseksi. (Sandt 2015.)

8.3 Teräsbetonirakenteiden korjaus

Huoneistopaloissa kantaville rakenteille ei yleensä aiheudu suuria vaurioita, koska palokuormat ovat yleensä kyseisissä kohteissa pieniä ja paloaika suhteellisen lyhyt. Joissain tapauksissa palon kuormittavuus saattaa kuitenkin nousta tavanomaista korkeammaksi ja näin ollen myös runkorakenteet kärsiä laajoja vaurioita. Korjaussuunnittelijan on tärkeää tietää miten syvälle vauriot rakenteessa ulottuvat. Taivutetussa rakenteessa kuten esimerkiksi palkissa tulee betonin suojata pääraudoitusta rakenteen vedetyllä puolella ja vastaavasti ottaa vastaan puristusrasitus rakenteen puristetulla puolella. Betonin rapautuminen etenkin näillä alueilla saattaa vaarantaa rakenteen kantavuuden. Betoniteräksiä suojaavan betonin rapautuminen altistaa myös teräkset mahdollisille korroosiota aiheuttaville rasituksille. (Sandt 2015.)

8.3.1 Betonin poistaminen ja korjattavan rakenteen esikäsittely

Betonirakenteen varsinainen korjaus aloitetaan useimmiten poistamalla vaurioitunut betoni. Betonin poistamiseen on käytettävissä useita erilaisia työmenetelmiä. Käytettävä menetelmä valikoituu vaurioiden laajuuden ja työympäristön mukaan. Sisätiloissa ei yleensä ole mahdollista käyttää veteen perustuvia työmenetelmiä. Kantaviin rakenteisiin

kohdistuvista korjaustoimenpiteistä on tehtävä korjaussuunnitelma, jos toimenpiteillä on vaikutusta rakenteen toimintaan. Lisäksi on suunniteltava rakenteiden työnaikainen tukeminen, kun puretaan tai tuetaan kantavia rakenteita. (Betonirakenteiden korjausohjeet 2007, 25-29.)

TAULUKKO 8. Betonin poisto- ja puhdistusmenetelmiä (Betonirakenteiden korjausohjeet 2007, 26)

Menetelmä	Betonin poistaminen	Betonipinnan puhdistaminen	Raudoituksen puhdistaminen	Irtoaineksen poistaminen	Vaikutussyvyys [mm]
Mekaaninen piikkaus	x				
Vesipiikkaus	x	x	x		> 5
Murtaminen	x				> 200
Jyrsintä käsin	x	x			1 - 3
Jyrsintä koneellisesti	x	x			3 - 8
Hiominen		x			1 - 3
Leikkaaminen	x				
Vesihiekkapuhallus	(x)	x	x		0 - 5
Korkeapainepesu		x		x	
Vesihiekkapesu	(x)	x			0 - 1
Suurpainepesu	x	x	x		0 - 5
Sinkopuhdistus	(x)	x			0 - 3
Imurointi				x	
Paineilmapuhallus				x	
(x) poistaa pinnasta vain rapautunutta betonia					

Betonirakenteen pinnan tulee olla puhdas ennen kuin se voidaan paikata. Pinnassa oleva irtoaines, sementtiliima tai muut epäpuhtaudet heikentävät uuden valun tartuntaa vanhaan betoniin. Sisätiloissa käytetään pääasiassa jyrsintää, imurointia ja paineilmapuhallusta betonin puhdistamiseen sekä irtoaineksen poistamiseen. Betonipinnan puhdistuksen jälkeen tulee pinta esikostuttaa ennen uuden betonin valamista. Esikostutuksella pyritään varmistamaan sementtipohjaisten korjaustuotteiden (betonit, laastit, yms.) hyvä tartunta vanhaan alusbetoniin. Sementtiin pohjautuvat tuotteet tarvitsevat kovettuakseen vettä ja vanhan betonin esikostutuksella pyritään estämään kosteuden liiallinen siirtyminen uudesta betonista vanhaan alusbetoniin. Esikostutuksessa käytettävä vesimäärä riip-

puu vanhan betonin ominaisuuksista, korjattavassa tilassa vallitsevista olosuhteista sekä korjaukseen käytettävän tuotteen ominaisuuksista. Yleensä perusteellinen esikostutus tulee tehdä ainakin päivää ennen varsinaista korjaustyötä. Tarvittaessa pintaa voidaan vielä kevyesti kostuttaa ennen työn aloittamista. Betonin pinnalla ei saa esiintyä vapaata vettä vaan pinnan tulee olla kuiva tai korkeintaan ns. mattakostea. Liiallinen kosteus estää riittävän tartunnan syntymisen korjaustuotteen ja vanhan alusbetonin välille. Alustan lujuuden riittävyyttä voidaan tarvittaessa arvioida kohdassa 8.1 mainitun vetokokeen avulla. (Betonirakenteiden korjausohjeet 2007, 29-35.)

8.3.2 Teräsbetonirakenteen korjaaminen sementtipohjaisilla tuotteilla

Betonirakenteita korjattaessa ja paikattaessa käytetään pinnoitteita lukuun ottamatta pääasiassa sementtipohjaisia korjaustuotteita. Suunnittelijan tulee selvittää tuotteiden ominaisuudet ja varmistua niiden soveltuvuudesta korjattavaan kohteeseen. Tarvittaessa tuotteen soveltuvuus kohteeseen tulee varmistaa suoraan valmistajalta. Lähtökohtaisesti tuotteita tulee käsitellä ja käyttää valmistajan sekä materiaalitoimittajan ohjeiden mukaisesti. Mikäli ohjeista kuitenkin joudutaan poikkeamaan, on syytä hankkia materiaalitoimittajalta tapauskohtainen lausunto tuotteen soveltuvuudesta kyseiseen kohteeseen.

Betonia paikattaessa on paikkaan suositeltavaa asentaa tankoraudoitusta tai vaihtoehtoisesti käyttää teräskuitubetonia. Jos tankoraudoituksen kohdalla peitebetonin paksuus on pienempi kuin 25 mm, on käytettävä ruostumatonta raudoitusta. Teräskuitubetonia käytettäessä on riittävä tartunta syytä varmistaa alusbetoniin kiinnitettävillä metallisilla ankureilla.

Sementtipohjaisten korjaustuotteiden kovettuminen perustuu useimmiten kosteuden läsnäoloon. Tästä syystä korjausvalun jälkihoito on erittäin tärkeää. Esimerkiksi riittämätön korjausvalun jälkikostutus voi aiheuttaa ongelmia tuotteen lujuuden kehityksessä tai heikentää sen tartuntaa alusbetoniin. Ympäröivän tilan olosuhteet vaikuttavat merkittävästi jälkihoidon tarpeeseen. Jälkihoidon tarve ja laajuus on syytä pohtia aina tapauskohtaisesti. (Betonirakenteiden korjausohjeet 2007, 35-39.)

9 Pohdinta

Suomessa teräsbetoni on käytetyin materiaali kerrostalojen runkomateriaalina. Suurena syynä tähän on sen hyvä palonkestävyys. Teräsbetonin rakenteellinen toiminta perustuu nimensä mukaisesti teräksen ja betonin yhteistoimintaan. Palotilanteessa betoni suojaa sisempänä rakenteessa sijaitsevia teräksiä kuumuudelta ja jo muutaman sentin paksuinen betonipeite antaa rakenteelle pitkän palonkestoajan. Teräsbetonirakenne soveltuu myös hyvin osastoivaksi rakenteeksi. Nämä edellä mainitut seikat antavat teräsbetonille merkittäviä etuja verrattuna muihin materiaaleihin ja se säilynee kilpailukykyisenä kerrostalojen runkomateriaalina vielä pitkään.

Kerrostaloissa tapahtuvat palovahingot ovat usein pieniä verrattuna esimerkiksi teollisuudessa tapahtuviin tulipaloihin. Rakenteen kantavuus vaarantuu näin ollen todella harvoin. Vahinkotarkastaja Tero Sandt kertoi hänen noin 25 vuotta kestäneellä urallaan olleen arviolta viisi tapausta, jossa tulipalon seurauksena olisi asuinkerrostalon kantavan rakenteen kantavuus vaarantunut ja rakenne oli tästä syystä jouduttu uusimaan. Sandt nostikin suoraan tulesta aiheutuvia vaurioita merkittävämmiksi sammutusveden aiheuttamat vauriot. Näihin vaurioihin vaikuttaa suuresti esimerkiksi välipohjalaatan rakenne. Ontelolaatan tai massiivilaatan kosteusvauriossa riittää yleensä pinnoitteiden poisto sekä tasoitteiden jysintä, jonka jälkeen rakenne pystytään koneellisesti kuivaamaan. Sen sijaan vanhempien rakennusten roskapermannot tai tuplalaatat vaativat huomattavasti raskaampia purkutoimenpiteitä.

Korjaustöiden kannalta on tärkeää kartoittaa tulipalosta aiheutuneet vauriot huolellisesti ja tarvittaessa varmistaa betonin lujuus myös kokeellisesti. Suunnittelijalla tulee olla riittävät lähtötiedot rakenteista ja niissä käytetyistä materiaaleista. Kun käytetään betonia tai muita sementtipohjaisia tuotteita, on rakenteiden esi- ja jälkikäsittely tärkeää. Palovahinkojen jäljiltä on usein tarve saada asunto nopeasti kuntoon. Korjaustöille on kuitenkin syytä ottaa riittävästi aikaa, jotta korjauksen laatu ei kärsi kiireen vuoksi.

Pienestäkin tulipalosta aiheutuu usein hajuhaittaa, josta saattaa kärsiä usein moni huoneisto. Otsonointi ja muut käytössä olevat hajunpoisto menetelmät nopeuttavat savun hajun poistumista huomattavasti. Esimerkiksi muutaman tunnin otsonointi käsittelyllä voidaan saada asunto asuttavaan kuntoon, kun taas tuulettamalla samaan tulokseen pää-

seminen veisi jopa viikkoja. Tämä vähentää merkittävästi asukkaalle ja asunnon omistajalle koituvaa haittaa vahingosta.

Jatkotutkimus aiheita tämän työn pohjalta löytyy monia. Runkojärjestelmistä voisi tehdä tarkempaa ja yksityiskohtaisempaa vertailua palomitoituksen ja myös korjausten osalta. Eurokoodi mitoitus näyttää antavan betoninormeihin verrattuna raskaampia rakenneratkaisuja, joten syitä tähän voisi tutkia tarkemmin. Korjaustöiden osalta voisi pohtia, miten käytännön korjausta voisi tehostaa ja nopeuttaa.

LÄHTEET

Belloni, K. Villberg, K. Tillander, Kati. Saarela, K. Palokoski, T. 2005. Tulipalon jälkihajujen poisto. VTT Tietopalvelu. Espoo.

Betoninormit 2012. 2012. Suomen Betoniyhdistys ry. Lahti: Esa Print Oy.

Betonirakenteiden korjausohjeet 2007. 2007. Suomen Betoniyhdistys ry. Porvoo: Painoyhtymä Oy.

Betonitekniikan oppikirja 2004. 2009. Suomen Betoniyhdistys ry. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Hietanen, T. 2010. Betonirakenteiden ohjeet eurokoodiaikaan. Betoni 1/2010, 56-57.

Fi-Service Oy. www.fi-service.fi

Ilveskoski, O. 2012. Johdatus betonirakenteiden suunnitteluun eurokoodin SFS-EN 1992-1-1 ja 2 mukaan. Hämeenlinnan ammattikorkeakoulu. Hämeenlinna.

Kotilahti, J. www.kotilahti.fi

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132.

Pelastustoimen taskutilasto 2009-2013. 2014. Pelastusopiston julkaisu.

RIL 201-2-2011. 2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Hansaprint Oy.

RIL 202-2011. 2011. Betonirakenteiden suunnitteluohje. Suomen Rakennusinsinöörien liitto. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.

Saarinen, E. Kinnunen, J. Tiura, S. 1992. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja. Osa 3. 2. painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Sandt, T. vahinkotarkastaja. 2015. Haastattelu 11.3.2015. Haastattelija Karisalmi, J. Tampere.